

**STUDI ANALISIS MEREDUKSI ARUS INRUSH AKIBAT
ENERGIZING PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU
INDUK BANYUDONO 150 KV MENGGUNAKAN METODE
SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION (SPE)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

GERALDY DANISWARA

D400150130

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI ANALISIS MEREDUKSI ARUS INRUSH AKIBAT ENERGIZING
PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK BANYUDONO 150
KV MENGGUNAKAN METODE SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION
(SPE)**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

GERALDY DANISWARA

D400150130

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Umar, S.T., M.T

NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI ANALISIS MEREDUKSI ARUS INRUSH AKIBAT ENERGIZING
PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK BANYUDONO 150 KV
MENGUNAKAN METODE SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION (SPE)**

OLEH

GERALDY DANISWARA

D400150130

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari seksi 4 6-8 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T, M.T

(Ketua Dewan Penguji)

2. Hasyim Asy'ari, S.T, M.T

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Aris Budiman, S.T, M.T

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



Dr. Sri Sunariono, M.T, Ph.D

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Juli 2019

Penulis



GERALDY DANISWARA

D400150130

**STUDI ANALISIS MEREDUKSI ARUS INRUSH AKIBAT ENERGIZING
PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK BANYUDONO 150
KV MENGGUNAKAN METODE SEQUENTIAL PHASE
ENERGIZATION (SPE)**

UNIVERSITAS MUHAMMADIAH SURAKARTA

Abstrak

Transformator daya memiliki fungsi menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Tahapan untuk menjaga keandalan dan kualitas sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu metode untuk meminimalisir gangguan pada transformator daya. Gangguan arus inrush ini sering terjadi pada transformator daya pada saat energisasi. Lonjakan arus inrush mengandung nilai yang cukup tinggi yang muncul pada saat transformator dioperasikan. Untuk meminimalisir gangguan arus inrush pada transformator daya diperlukan metode *Sequential Phase Energization (SPE)*. Metode ini menerapkan skema tahanan pada belitan netral. Hal ini dikarenakan arus inrush tidak seimbang pada tiap fasa. Analisis yang dilakukan untuk mengurangi arus inrush pada transformator daya dengan memantau lonjakan arus yang seketika memiliki nilai melebihi arus normal. Kemudian menentukan setting metode *Sequential Phase Energization (SPE)* untuk mengurangi adanya arus inrush. Metode *Sequential Phase Energization (SPE)* menggunakan simulasi aplikasi *Alternative Transient Program-Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP)* dalam menentukan pengurangan arus inrush. Penggunaan metode *Sequential Phase Energization (SPE)* mengurangi arus inrush pada ketiga fasa di trafo 2 sebesar 4,36%.

Kata Kunci: arus inrush, transformator, metode *sequential phase energization*, aplikasi ATP-EMTP.

Abstract

Power Transformer has function of transmitting power from high voltage to low voltage or instead. Stages to maintain the reliability and quality of electrical power systems needed a method to minimize interference to power transformers. This inrush current disorder often occurs on power transformers at the time of energization. The inrush current spike contains a fairly high value that arises when the transformer is operated. To minimize the interruption of inrush current on the power transformer required the *Sequential Phase Energization (SPE)* method This method implements a prisoner scheme on a neutral scant. This is because inrush currents are not balanced in each phase.

Analysis is done to reduce the inrush current on the power transformer by monitoring the current surge that instantly has a value exceeding the normal current. Then determine the setting of the Sequential Phase Energization (SPE) method to reduce the presence of inrush currents. The Sequential Phase Energization (SPE) method uses simulated Alternative Transient Program-Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP) applications in determining the inrush current reduction. The use of the Sequential Phase Energization (SPE) method reduces inrush current at the three phases in the 2 transformer by 4,36%.

Keywords: inrush current, transformer, sequential phase energization method, ATP-EMTP Application.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah termasuk kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari – hari entah untuk keperluan industri maupun rumah tangga, atau lainnya. Kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik dalam pendistribusian tenaga listrik harus dijaga. Diperlukan usaha untuk menjaga kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik secara merata di seluruh wilayah Indonesia.

Gardu Induk merupakan sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik. Transformator daya adalah peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan transmisi dan distribusi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, trafo bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi magnetik (Søren Slumstrup, 2018). Transformator daya dapat mengalami gangguan dengan kondisi yang beragam, seperti terjadinya gangguan hubung singkat, gangguan termal, dan gangguan mekanik dikarenakan kesalahan operasi pada perubahan sistem parameter (Saad M. Saad,dkk, 2015).

Arus inrush merupakan suatu fenomena arus yang timbul secara tiba-tiba dan mempunyai nilai arus yang tinggi pada saat transformator beroperasi. Biasanya arus inrush muncul saat transformator energisasi (beroperasi). Arus inrush biasanya memiliki nilai yang cukup tinggi melebihi arus beban normal pada transformator. Fenomena munculnya arus inrush termasuk permasalahan pada transformator dapat mengganggu pada kualitas sistem tenaga listrik. Cepat atau lambat arus inrush akan menimbulkan dampak negatif pada sistem tenaga listrik transformator jika tidak ada usaha untuk memperbaikinya.

Usaha untuk mengurangi permasalahan yang ditimbulkan dari arus inrush yaitu dengan menggunakan metode *Sequential Phase Energization* (SPE). Metode *Sequential Phase Energization* (SPE) membutuhkan parameter penting yaitu delay waktu switching pada setiap fasa transformator (A, B, C) dan diperlukan tambahan kawat netral pada belitan primer transformator sebagai tahanan pembumian.

Pada tugas akhir ini, untuk mengoptimalkan analisis pengurangan arus inrush diperlukan tambahan model rangkaian dengan menggunakan aplikasi *Alternative Transient Program-Electromagnetic Transient Program* (ATP-EMTP). Pembuatan model rangkaian transformator dibutuhkan data dari Gardu Induk 150 kV Banyudono dan data penyulang trafo 2 Gardu Induk 150 kV Banyudono.

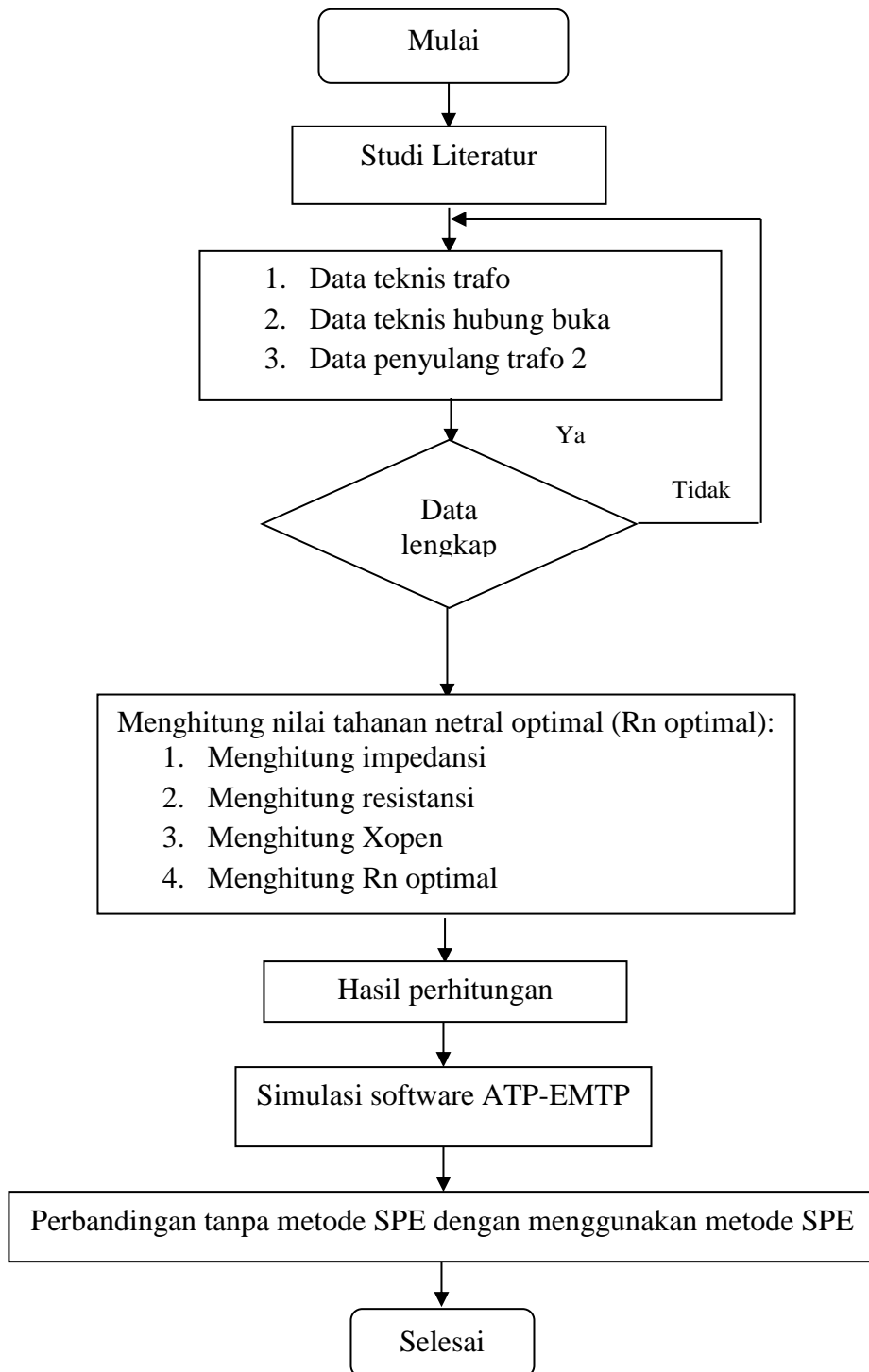
Hasil 2 tahapan simulasi akan dibandingkan hasil antara tahapan yang tidak menggunakan metode *Sequential Phase Energization* dengan menggunakan metode *Sequential Phase Energization* yang sudah diterapkan.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa permasalahan lonjakan arus inrush pada trafo 2 di gardu induk banyudono. Penyusunan tugas akhir ini diperlukan data-data dari gardu induk banyudono dan beberapa metode yang didapatkan dari internet ataupun jurnal-jurnal untuk mempermudah menyelesaikan tugas akhir. Data yang diperlukan yaitu single line diagram trafo 2 gardu induk banyudono, data teknis trafo 2, data hubung buka, data teknis penyulang trafo 2 sebagai bahan untuk perhitungan dan menyusun tugas akhir.

Data yang diperoleh dari Gardu Induk Banyudono 150 kV akan diolah dalam perhitungan dan dimasukkan ke dalam perangkat lunak ATP-EMTP sebagai pendeteksi adanya lonjakan arus inrush pada trafo 2. Berikut ini langkah-langkah alur proses metode penelitian:

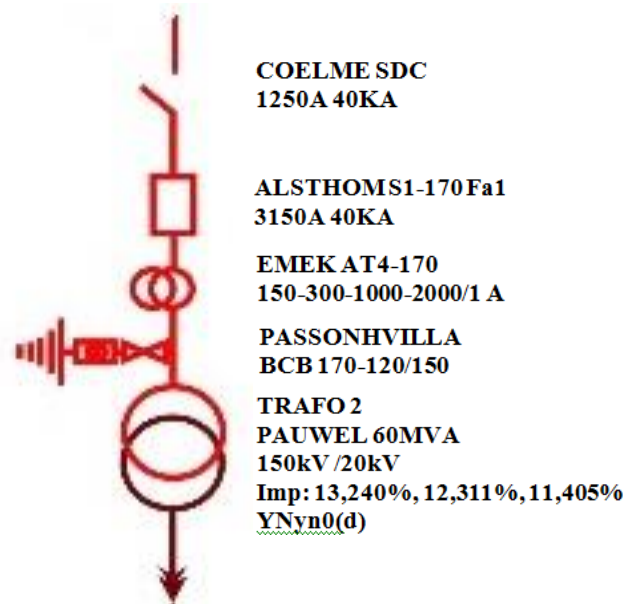


Gambar 1. Flowchart

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Teknis Trafo 2 Gardu Induk 150 kV Banyudono

Pengambilan data Gardu Induk Banyudono 150 kV yang memiliki kapasitas daya sebesar 60 MVA dengan nilai tegangan primer 150 kV dan nilai tegangan sekunder 20 kV. Berikut ini merupakan data Gardu Induk Banyudono 150 kV. Data Single Line Trafo 2 Gardu Induk Banyudono 150 kV



Gambar 2. Single line diagram trafo 2

Berikut ini data teknis dari trafo2 Gardu Induk Banyudono 150 kV:

Tabel 1. Data teknis trafo 2 di Gardu Induk Banyudono 150 kV

Keterangan	Trafo 2
Merk	PAUWELS
Type	SFZ60000/150
I nominal	230,9/1732
Daya	60 MVA
Tegangan sisi Primer	150 kV
Tegangan sisi Sekunder	20 kV
Impedansi	13%
Arus sisi Primer	321 A

Arus sisi Sekunder	1732 A
Vektor	YNynO(d)

3.2 Data Test Hubung Buka Trafo 2 Gardu Induk 150 kV Banyudono

Tabel 2. Data Test Hubung Buka

Tegangan Tanah (kV)	Phasa ke Arus Hubung Buka 3 fasa (A)	Rugi-rugi Hubung Buka (kW)
20 kV	9,15 A	48

3.3 Data Penyulang Trafo 2 Gardu Induk 150 kV Banyudono

Gardu Induk 150 kV Banyudono pada trafo 2 memiliki penyulang berjumlah 6 penyulang yaitu BDN 6, BDN 7, BDN 8, BDN 10, BDN 11, BDN 12. Data masukan pada rangkaian ATP-EMTP hanya diperlukan 1 penyulang.

Tabel 3. Data BDN 10 penyulang trafo 2

Keterangan	Penyulang BDN 10
Nama Penghantar	AAAC 240 mm ²
Panjang Penghantar	9,1 kms
Beban Penyulang	267 Amp
Daya Trafo Terpasang	20 kV
Frekuensi	50 Hz

3.4 Perhitungan Nilai Tahanan Optimal ($Rn_{optimal}$)

Untuk mencari nilai tahanan optimal ($Rn_{optimal}$), menggunakan parameter data dari hubung buka trafo 2 Gardu Induk 150 kV Banyudono. Berikut ini parameter data masukannya:

- Tegangan Phasa ke Tanah (kV) = 20 kV
- Arus Hubung Buka 3 fasa (A) = 9,15 A
- Rugi-rugi hubung Buka (kW) = 48 kW

Nilai impedansi trafo

$$Z_{open} = V/I_{open} = 20000 / 9,15 = 2185,79 \Omega$$

Nilai resistansi trafo

$$R_{open} = P_{loss} / 3 I_{open}^2 = 48000 / 3 (9,15)^2 = 191,11 \, \Omega$$

Perhitungan impedansi dan resistansi digunakan untuk mencari nilai X_{open}

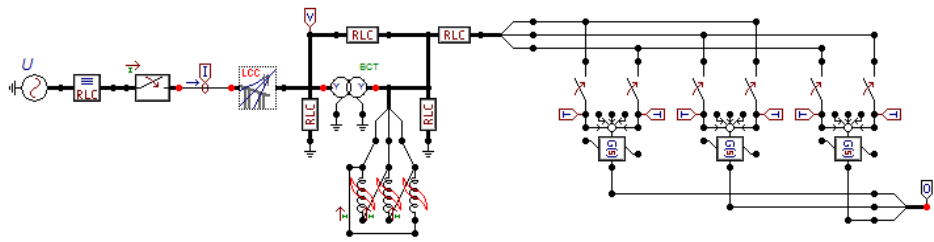
$$X_{open} = \sqrt{Z_{open}^2 - R_{open}^2} = \sqrt{2185,79^2 - 191,11^2} = 2177,41 \, \Omega$$

Sehingga untuk menentukan nilai $Rn_{optimal}$

$$Rn = 0,085 X_{open} = 0,085 (2177,41) = 185,07 \, \Omega$$

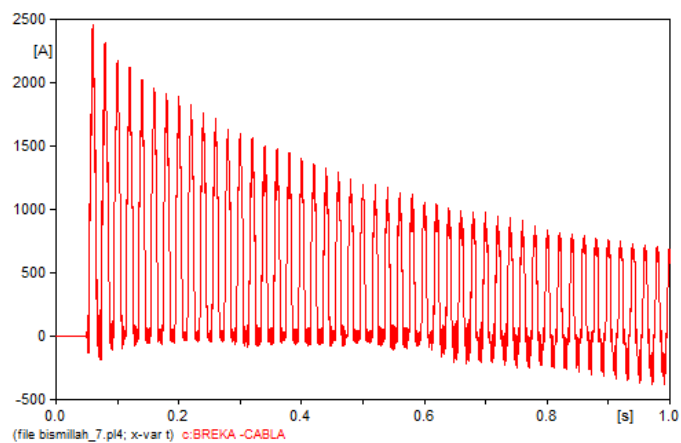
3.5 Perbandingan Hasil Simulasi tanpa Metode SPE dengan Menggunakan Metode SPE

Tanpa metode SPE dengan software ATP-EMTP

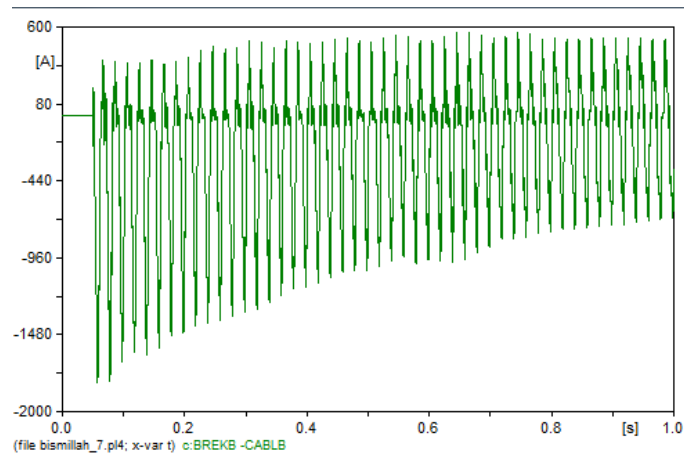


Gambar 3. Permodelan rangkaian tanpa metode SPE dengan software ATP-EMTP

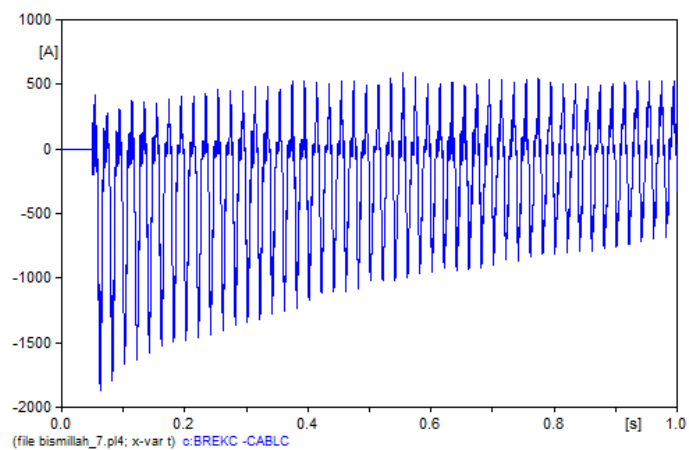
Hasil simulasi rangkaian untuk mendeteksi arus inrush



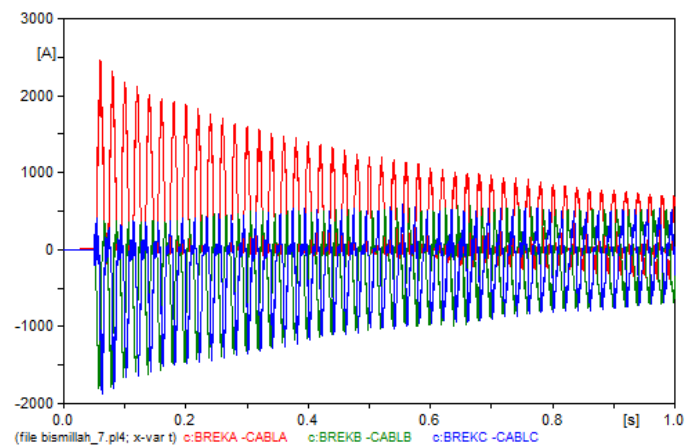
Gambar 4. Fasa 1 arus inrush



Gambar 5. Fasa 2 arus inrush



Gambar 6. Fasa 3 arus inrush

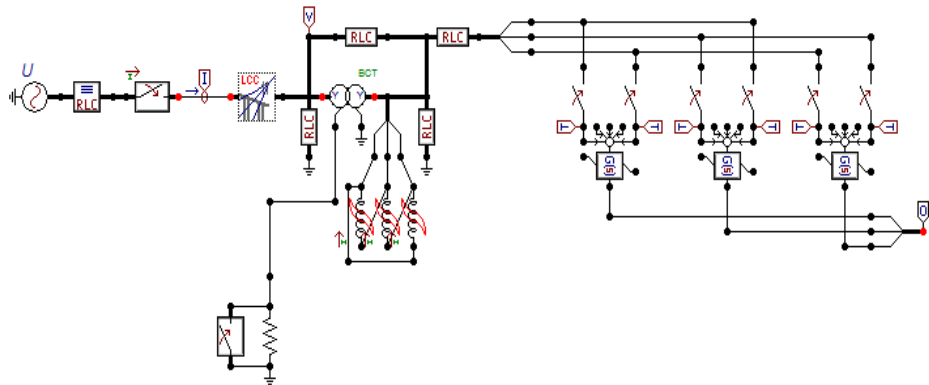


Gambar 7. Ketiga fasa arus inrush

Hasil menunjukkan bahwa gambar 4 arus inrush fasa 1 muncul pada waktu 0,05s dengan lonjakan arus inrush sebesar 2450 A, gambar 5 arus inrush fasa 2

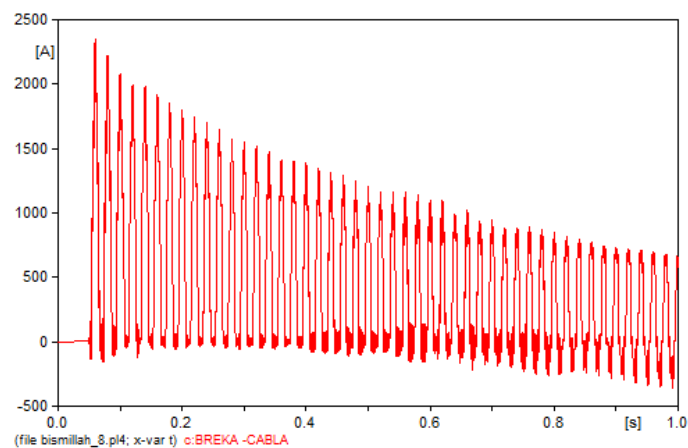
muncul pada waktu 0,05s dengan lonjakan arus inrush sebesar -1805 A, dan gambar 6 arus inrush fasa 3 muncul pada waktu 0,05s dengan lonjakan arus inrush sebesar -1860 A. Hasil simulasi arus inrush setiap fasa sebelum menggunakan metode SPE mencapai nilai steady state pada waktu 0,9s.

Menggunakan metode SPE dengan software ATP-EMTP

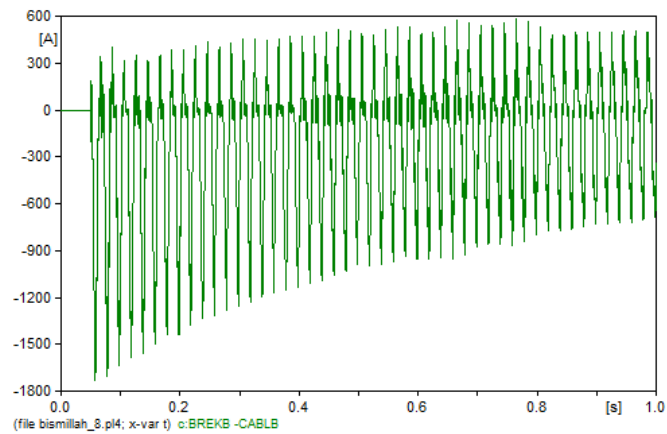


Gambar 8. Permodelan rangkaian metode SPE dengan software ATP-EMTP

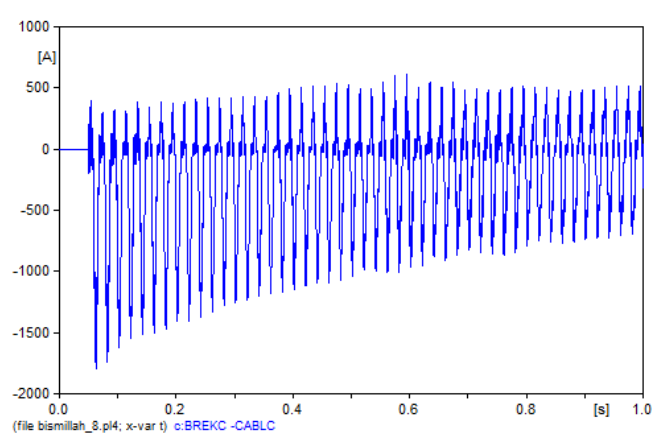
Hasil simulasi rangkaian untuk mendeteksi arus inrush



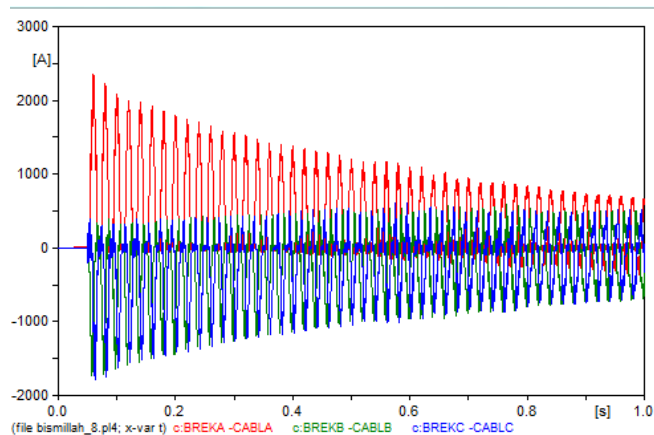
Gambar 9. Fasa 1 arus inrush



Gambar 10. Fasa 2 arus inrush



Gambar 11. Fasa 3 arus inrush



Gambar 12. Ketiga fasa arus inrush

Hasil menunjukkan bahwa gambar 9 arus inrush fasa 1 muncul pada waktu 0,05s dengan lonjakan arus inrush sebesar 2310 A, gambar 10 arus inrush fasa 2 muncul pada waktu 0,05s dengan lonjakan arus inrush sebesar -1730 A, dan gambar

11 arus inrush fasa 3 muncul pada waktu 0,05s dengan lonjakan arus inrush sebesar -1800 A. Hasil simulasi arus inrush pada setiap fasa sesudah menggunakan metode SPE mencapai nilai steady state pada waktu 0,70s.

Perbandingan arus inrush

Tabel 4. Perbandingan

No	Metode		Arus Puncak Positif (<i>Peak</i>)	Reduksi Arus Inrush (%)	Arus Puncak Negatif (<i>Peak</i>)	Reduksi Arus Inrush (%)
1	Tanpa Metode SPE		2450 A	-	-1860 A	-
2	Metode SPE		2310 A	5,71%	-1800 A	3,22%

Pengurangan fasa 1 setelah menggunakan metode SPE $\frac{2450-2310}{2450} \times 100\% = 5,71\%$

Pengurangan fasa 2 setelah menggunakan metode SPE $\frac{-1805-(-1730)}{-1805} \times 100\% = 4,15\%$

Pengurangan fasa 3 setelah menggunakan metode SPE $\frac{-1860-(-1800)}{-1860} \times 100\% = 3,22\%$

4. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil penelitian arus inrush dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengurangan arus inrush sangat diperlukan, karena arus inrush dapat menimbulkan kegagalan sistem proteksi pada trafo dan mengakibatkan trafo Mal-trip.
2. Penggunaan metode *Sequential Phase Energization* (SPE) memerlukan parameter penting seperti, delay waktu switching dan tahanan pembumian agar mendapatkan hasil yang optimal.
3. Arus inrush pada tiap fasa di trafo 2 terdeteksi sebesar 2450 A, -1805 A, dan -1860 A.

4. Pengurangan arus inrush pada tiap fasa di trafo 2 setelah menggunakan metode SPE sebesar 2310 A, -1730 A, dan -1800 A.
5. Pengurangan arus inrush trafo 2 pada tiap fasanya sebesar
$$\frac{5,71\%+4,15\%+3,22\%}{3} = 4,36\%$$

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih dan rasa syukur kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan inayah-Nya terhadap penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak, Ibu, dan Adik yang memberikan doa dan dukungan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Umar S.T,M.T selaku dosen pembimbing yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Imam Subrata selaku UITJBT Salatiga yang telah menyetujui untuk melaksanakan pengambilan data di ULTG Salatiga.
5. Bapak Ali Rofii selaku Manager ULTG Salatiga yang membantu dalam pengambilan data untuk mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir.
6. Bapak Alvin Budi K. selaku Supervisor dan operator-operator Gardu Induk 150 kV Banyudono yang memberikan wawasan ilmu sehingga mempermudah dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Teman-teman jurusan elektro 2015 yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulsalam S. G., Xu W. “*A sequential phase energization method for transformer inrush current reduction—Transient performance and practical considerations*” // IEEE Trans. Power Delivery. – January, 2007. – Vol. 22. – No. 1. – P. 208-216
- Firmansyah, Mokhamad. (2014). *Studi Perbandingan Metode Pengurangan Arus Inrush Pada Transformator Daya 500 KV Gitet Krian*. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).

- Napitupulu, Colin Vincent. (2011). *Studi Pengurangan Arus Inrush Akibat Energizing Pada Transformator Daya Gardu Induk Menggunakan Metode Sequential Phase Energization (SPE)*. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Primawati, Era and , Umar S.T, M.T (2019) *Analisa Pengaturan Proteksi Rele Diferensial Pada Trafo III 60 MVA di Gardu Induk Banyudono 150KV/22KV*. Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Saad M. Saad, Abdelsalam Elhaffar and Khalil El-Arroudi. (2015). *Optimizing Differential Protection Settings for Power*. University of Benghazi, Libya: Journal International.
- Søren Slumstrup, and Filipe Faria da Silva. (2018). *Differential Protection of Transformers*. Aalborg University: EE7-722.
- Wilfanur, Gilang. (2010). *Studi Pengurangan Arus Inrush Akibat Energizing Pada Transformator Daya Gardu Induk Krian 500 kV Menggunakan Metode Sequential Phase Energization (SPE)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.